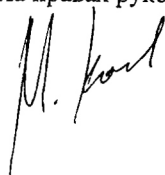


0- 779588

На правах рукописи



Козлов Максим Владимирович

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ РАСЧЁТА РЕКЛАМНЫХ
СООРУЖЕНИЙ НА ВЕТРОВУЮ НАГРУЗКУ**

Специальность 05.23.01 – “Строительные конструкции, здания и
сооружения”

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени кандидата
технических наук

Казань 2009

Работа выполнена на кафедре металлических конструкций и испытания сооружений Казанского государственного архитектурно-строительного университета.

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент

Шмелев Геннадий Николаевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор

Ведяков Иван Иванович,

кандидат технических наук, профессор

Столбов Александр Васильевич

Ведущая организация: ЗАО «Казанский Гипронииавиапром», г. Казань

Защита состоится «8» декабря 2009 года в 13.00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.077.01 при Казанском государственном архитектурно-строительном университете по адресу: 420043, г. Казань, ул. Зеленая, 1, КазГАСУ, ауд. 3-203 (зал заседаний Учёного совета).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Казанского государственного архитектурно-строительного университета.

Автореферат разослан «8» ноября 2009 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета



Абдрахманова Л.А.

НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА КГУ



0000644230

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Начиная с начала 90-х годов XX века, в России формируется рынок рекламных услуг, одно из направлений которого является наружная реклама (установка рекламных сооружений (РС)). Анализ эксплуатируемых РС показывает на низкое качество проектирования, производства и эксплуатации. Имеются случаи отказа и аварий РС (июнь 1998г., ноябрь 2008г. в Москве, январь 2007г. в Калининграде, июнь 2007г. в Казани и др.), ущерб от которых в некоторых случаях составлял до 15-20% от их общего количества. Анализ конструктивных форм РС показывает, что ветровая нагрузка является определяющей при их расчете. Существующие отечественные нормативные документы не рассматривают подобные сооружения и не учитывают специфику конструктивной формы РС.

В связи с этим исследование РС в этих направлениях является актуальным.

Цель работы. Уточнение характера распределения ветровой нагрузки и её учет при вероятностном расчете рекламных сооружений (РС).

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

- численное моделирование действия средней составляющей ветровой нагрузки на наиболее используемые типы РС, в т.ч. в условиях городской застройки;
- натурное экспериментальное исследование распределения средней составляющей ветровой нагрузки, НДС основных несущих элементов и параметров колебаний РС;
- исследование распределения средней составляющей ветровой нагрузки по поверхности РС в аэродинамической трубе;
- разработка методики вероятностного расчета РС на уточненную ветровую нагрузку, позволяющей оптимизировать параметры РС с учетом возможных потерь.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- адаптирован и реализован численный метод – метод дискретных вихрей (МДВ) для моделирования ветровой нагрузки на РС со сравнением полученных результатов с данными эксперимента и данными других численных методов (метод конечного объема (МКО));
- уточнены значения аэродинамического коэффициента средней составляющей ветровой нагрузки при расчете РС в городской застройке;

- выполнена сравнительная оценка результатов численных методов с экспериментальными данными и разработаны рекомендации по проектированию РС;

Практическая значимость работы:

- уточнено распределение средней составляющей ветровой нагрузки по поверхности наиболее применяемых типов РС;
- показано, что рассматриваемые численные методы могут использоваться при решении аналогичных задач;
- разработаны рекомендации по проектированию РС с учетом городской застройки;
- разработана и апробирована методика комплексного наблюдения за состоянием сооружения с регистрацией параметров ветровой нагрузки, НДС элементов и параметров колебаний;
- разработана вероятностная методика расчета, позволяющая оптимизировать параметры РС с учетом возможных потерь.

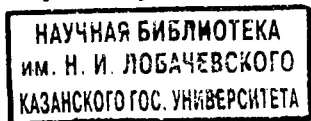
Реализация результатов:

Результаты, полученные в диссертационной работе, приняты в проекте редакции СНиП «Нагрузки и Воздействия» и «Регламента размещения средств наружной рекламы и информации в городе Казань».

Реализация результатов исследований осуществлялась при расчете и конструировании различных конструктивных решений РС при выполнении хозяйственных работ по текущим темам в г. Казани (12 объектов) и Ярославле (2 объекта).

На защиту выносятся:

- результаты численного моделирования действия средней составляющей ветровой нагрузки для наиболее используемых типов РС, полученные методами МДВ и МКО;
- результаты натурного экспериментального исследования распределения средней составляющей ветровой нагрузки по поверхности, НДС основных несущих элементов и параметров колебаний РС на двух объектах;
- исследование распределения ветровой нагрузки по поверхности РС в аэродинамической трубе;
- рекомендации по проектированию РС, в том числе в городской застройке;
- методика вероятностного расчета РС, позволяющая оптимизировать параметры РС с учетом возможных потерь.



Апробация работы

Основные результаты выполненных исследований доложены на научно-практических конференциях профессорско-преподавательского состава КГАСУ 2004÷2009 годов; на международной научно-практической конференции “Строительство-2008” РГСУ (г. Ростов) в 2008 году; на международной конференции “Relmas’2008” СПбГПУ в 2008 году; на научном симпозиуме “Актуальные проблемы компьютерного моделирования конструкций и сооружений” (Нижний Новгород) в 2007 году; на международной научно-технической конференции “Строительство. Коммунальное хозяйство” УГНТУ (г. Уфа) в 2006 году; на VI международной конференции “Научно-технические проблемы прогнозирования надежности и долговечности конструкций и методы их решения” СПбГПУ в 2005 году; на научной сессии “Компьютерное моделирование и проектирование пространственных конструкций” МОО “Пространственные конструкции” в 2005 году, на международной научно-практической конференции “Актуальные проблемы строительного и дорожного комплексов” МарГТУ в 2004 году.

Публикации

По материалам диссертации опубликовано 16 работ, в том числе 8 статей (4 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК), 2 патента РФ.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов и приложений. Работа изложена на 153 листах машинописного текста, содержит 27 таблиц и 83 рисунка. Список литературы включает 133 наименования.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертации, определено ее значение и направленность. Дана общая характеристика работы, сформулированы цель и задачи исследований.

В **первой главе** проведен: 1) обзор научно-технической и нормативной литературы в областях аналитического, экспериментального и численного исследований действия ветра; 2) обзор работ посвященных вопросам теории надежности строительных конструкций; 3) анализ наиболее применяемых РС на примере г. Казани.

Основы аналитического и экспериментального исследования действия ветра заложены в трудах ученых: Д.Бернулли, Ж.Л.Даламбера, О.Рейнольдса, Д.Стокса, Н.Е.Жуковского, Л.Прандтля, Т.фон Кармана и др. Их исследования

продолжены в работах советских ученых: П.М.Ширманова, С.М.Горлина, А.Д.Гиргидова, А.М.Мхитаряна, С.И.Девнина, Н.Ф.Краснова и др.

Изучением скорости, направления ветра и вероятности его повторения на территории СССР (России) занимались Л.Е.Анапольская, М.М.Борисенко, М.В.Заварина Л.Б.Гарцман и др.

В работах С.М.Белоцерковского, И.К.Лифванова, А.В.Сетуки, О.М.Белоцерковского, С.И.Дубинского, А.В.Атаманчука и др. отражены исследования в области численного моделирования ветрового воздействия.

Исследованиями в области ветровых нагрузок на здания и сооружения занимались советские и российские ученые Э.И.Реттер, А.Г.Соколов, Г.А.Савицкий, И.М.Беспрозванная, Ф.Л.Серебровский, А.С.Бернштейн, М.Ф.Барштейн, М.И.Казакавич, Е.Н.Ермилова, Ю.К.Мелашвили, А.А.Петров, Н.А.Попов, Б.В.Остроумов, С.Г.Кузнецов и др. Из зарубежных исследователей можно выделить A.G.Davenport, E.Simiu, R.H.Scanlan, N.J.Cook, Y.Tamura, A.Kareem, G.Solari и др.

Создание и совершенствование теории надежности строительных конструкций связано с именами Н.Ф.Хоциалова, Н.С.Стрелецкого, А.Р.Ржаницина, В.В.Болотина, А.В.Геммерлинга, А.М.Арасланова, Ю.А.Веселова, Д.Б.Демченко, В.Д.Райзера, А.С.Лычева, Н.Н.Складнева, Б.И.Снарскиса, С.Ф.Пичугина, А.В.Перельмутера и др.

Обзор исследований показывает, что, несмотря на достижения в области расчета РС на ветровую нагрузку, имеется ряд вопросов, которые требуют дополнительного изучения.

Во второй главе рассмотрены вопросы численного моделирования ветровой нагрузки на РС с помощью метода дискретных вихрей (МДВ), реализованного в ПК «AERECOPLATE», созданном в ВВИА им. Жуковского.

Моделирование осуществлялось в два этапа:

1. Первый этап - «**верификационный расчет**» с определением параметров моделирования расчета ветровой нагрузки на ПК «AERECOPLATE».

Второй этап - «**моделирование ветровой нагрузки**» с определением аэродинамических характеристик для РС: плоских и призматических отдельно стоящих и плоских РС, расположенных группой при различных направлениях ветровой нагрузки (рис. 1).

При моделировании варьировались параметры: для плоских РС (рис. 1а) – соотношение сторон $\lambda = b/h$ в интервале $0.1 \leq \lambda \leq 10$; для призматических РС высотой 3 м (рис. 1б) соотношения сторон: призма 1, размеры в основании –

6х6х6 м; призма 2 – 6х9х9 м; призма 3 – 6х12х12 м; призма 4 – 6х15х15 м; для плоских РС, расположенных группой, – расстояние между плоскими РС – а (рис. 1в) и расстояниями а и с₁ между плоским РС и зданием (рис. 1г).

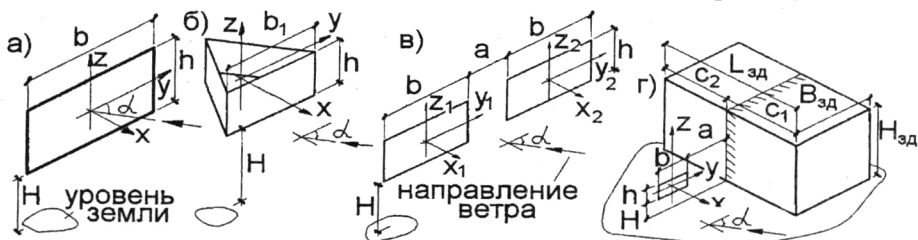


Рис. 1. Расчетные схемы рекламных сооружений (РС).
а) плоское РС; б) призматическое РС; в) РС, расположенные группой;
г) РС, расположенное рядом со зданием

Рассматриваемые РС относятся к сооружениям с плохо обтекаемой формой. Они имеют фиксированное положение отрыва ветрового потока расположенного по периметру РС. Численное моделирование ветровой нагрузки визуализирует нестационарный характер движения ветра: отрывное с кромок и безотрывное (плавное) перетекание вдоль кромок.

Результаты моделирования для плоских и призматических РС представлены на рисунках 2, 3 в виде зависимости значений аэродинамических коэффициентов c_e для плоского РС, c_x , c_y – для призматического РС в связанной системе координат и относительного эксцентриситета приложения равнодействующей ветровой нагрузки $e_a = e/b$ от направления ветра α .

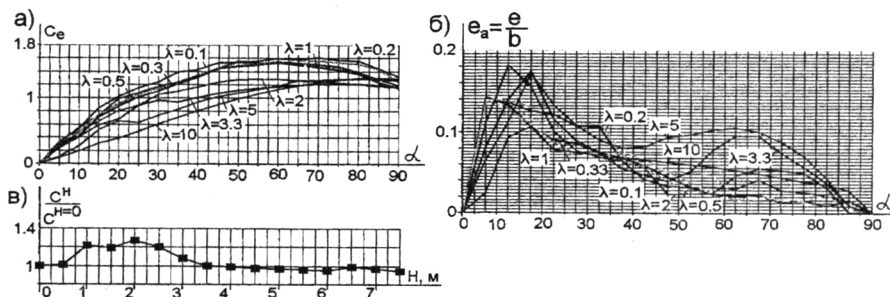


Рис. 2. Изменение c_e (а) и e_a (б) в зависимости от α для плоских РС (рис.

1а) с соотношением сторон $0.1 \leq \lambda \leq 10$, изменение c_e в зависимости от H (в).

Из графиков, приведенных на рисунке 2а, хорошо видно, что максимальное значение c_e для РС с $\lambda \leq 1$ соответствует направлению $\alpha \approx 45^\circ$, для РС $\lambda \geq 10$ $\alpha \approx 90^\circ$, а для РС с $1 < \lambda < 10$ имеет промежуточное положение.

Максимальное значение e_a (рис. 2б) для плоских РС соответствует направлению $\alpha = 10^\circ \div 15^\circ$. Полученные зависимости объясняются характером обтекания РС в зависимости от соотношения сторон λ и изменения α .

Также рассматривалось влияние положения РС относительно уровня земли на примере плоского РС с соотношением сторон $\lambda = 2$ (рис. 2в), из которого следует, что для РС, нижняя кромка которых располагается ниже 3м от уровня земли, значение c_s следует увеличивать на 10%.

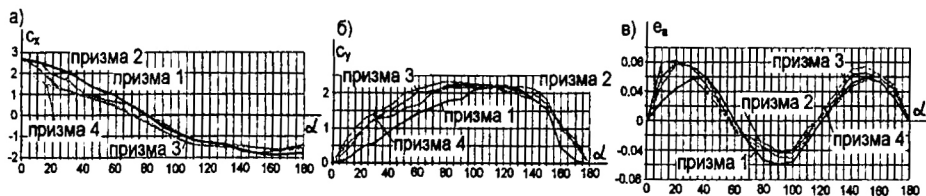


Рис. 3. Изменение c_x (а), c_y (б) и e_a (д) в зависимости от α для призматических РС в связанной системе координат

Анализ графиков, приведенных на рисунке 3, показывает, что максимальные значения c_x соответствуют направлению $\alpha = 0^\circ$, максимальные значения c_y соответствуют направлению $\alpha = 100^\circ - 110^\circ$, максимальные значения e_a соответствуют направлению $\alpha = 10^\circ - 30^\circ$. Значения c_{x1} и c_{y1} характеризуют удовлетворительное сходство значений при характерных углах действия ветра на равностороннюю призму: для c_{x1} при $\alpha = 0^\circ$ и $\alpha = 120^\circ$, $\alpha = 60^\circ$ и $\alpha = 180^\circ$ для c_{y1} при $\alpha = 0^\circ$, $\alpha = 60^\circ$, $\alpha = 120^\circ$, $\alpha = 180^\circ$ и $\alpha = 30^\circ$, $\alpha = 150^\circ$, что свидетельствует о достоверности результатов моделирования.

Результаты моделирования для плоских РС1 и РС2 (рис. 1в) с $\lambda = 2$, расположенных на расстоянии a друг от друга по сравнению с аналогичными значениями для отдельно стоящих РС, представлены на рисунке 4.

Сравнение результатов моделирования ветровой нагрузки на РС, расположенных группой с отдельно стоящим РС (рис. 4а), позволяет выделить характерные зоны изменения c_s и e_a для РС1 и РС2 в зависимости от расстояния - a между РС и направления ветра α (рис. 4б). Зона А: (при $0 \leq a \leq 0.5b$ и $90^\circ \geq \alpha \geq \alpha_A = 60^\circ$, α_A - критическое направления ветра действия зоны А) увеличение c_s до 10% и e_a до 0.1 относительно значений отдельно стоящего РС. Изменение c_s в зависимости от расстояния - a имеет линейный характер и приведено на рисунке 4в; Зона В: (при $0.5 \times b < a \leq b$ и $90^\circ \geq \alpha \geq \alpha_B$, α_B - критическое направления ветра действия зоны В, имеет переменное

значение в интервале $90^\circ \geq \alpha_B \geq 60^\circ$), увеличение c_s до 5% без изменения e_s относительно значений отдельно стоящего РС. Изменение c_s в зависимости от расстояния между РС - а имеет линейный характер и приведено на рисунке 4в; **Зона С:** значения c_s и e_s для первого по направлению потока РС (PC1) соответствуют аэродинамическим характеристикам отдельно стоящего РС, а для второго (PC2) - наблюдается резкое падение c_s до нулевого значения и рост e_s до значения $e_s \approx 0.35$. Для оценки достоверности результатов моделирования РС, расположенных на расстоянии а друг от друга при $a=0$, проведено сравнение значений $c_s = 1.232$ и $c_s = 1.231$ для РС с $\lambda = 4$ при направлении ветра $\alpha = 90^\circ$, которые характеризуют удовлетворительную точность.

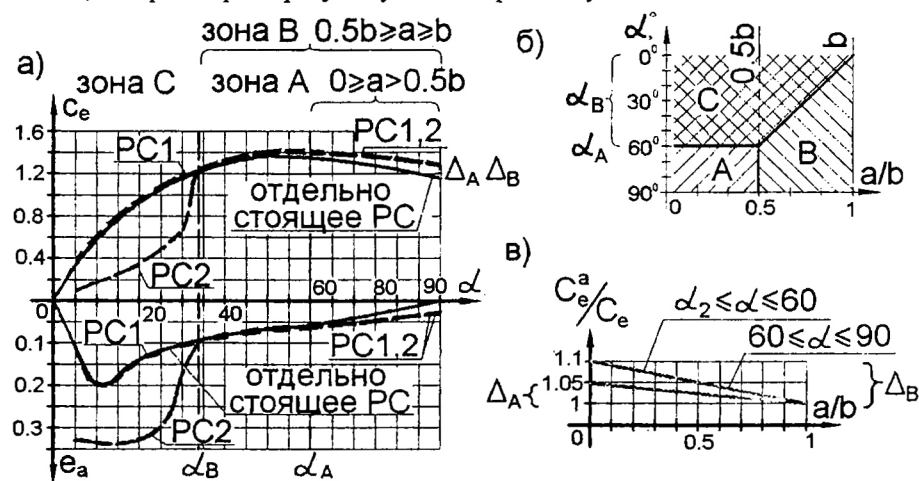


Рис. 4. Изменение c_{e1} , c_{e2} и e_1 и e_2 для РС, в зависимости от изменения а.

На рисунке 5 приведены зависимости c_s и e_s для отдельно стоящего РС и РС расположенного рядом со зданием в «зоне влияния» при $0^\circ \geq \alpha \geq 180^\circ$. Размер «зоны влияния» определен в результате численного моделирования. Также в результате моделирования выявлена зона пристеночной турбулентности ветра вдоль здания шириной 1м, в которой значения c_s и e_s имеют переменное значение в интервале $c_s = \pm 0.1$ и $e_s \approx 0.35$. Размер здания $B_{\text{зд}} = 12\text{м} \times L_{\text{зд}} (24 + 48)\text{м}$.

Изменение c_s в зависимости от расстояний а и c_1 приведено на рисунке 5а, из которого видно, что максимальное значение наблюдается при $c_1 = 3 + \frac{B_{\text{зд}}}{2} (\text{м})$ и $a = 1\text{м}$. На рисунке 5б приведен характер изменения c_s и e_s в зависимости от направления ветра α для РС, расположенного в «зоне влияния»

здания на различных расстояниях c_1 . Так, для положения 1 ($c_1 = 0$) выявлено незначительное увеличение c_e и e_e при $90^\circ \geq \alpha \geq 130^\circ$. Увеличение c_1 до положения 2 ($c_1 = 3 + \frac{B_{зд}}{2}$ (м)) приводит к увеличению c_e и e_e до направления ветра с предельным $\alpha \approx 50^\circ$, где РС попадает в зону влияния отрывного обтекания от здания, в которой $c_e = \pm 0.1$ и $e_e \approx \pm 0.35$. Дальнейшее увеличение c_1 приводит к уменьшению c_e и предельного значения α , что видно по кривой для РС, находящегося в положении 3 рисунка 5б.

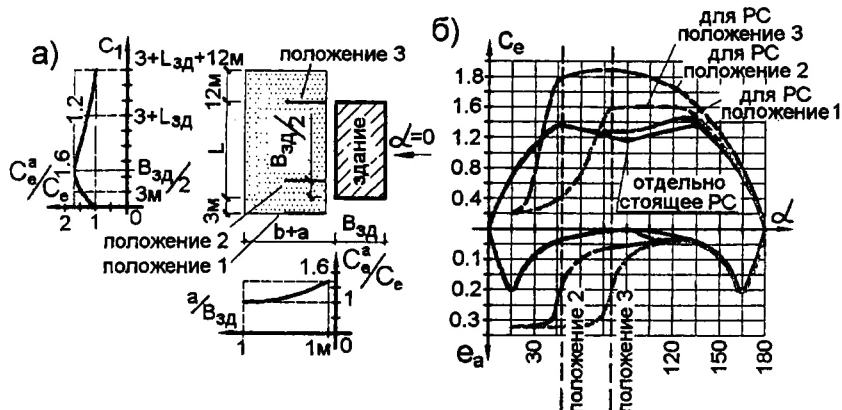


Рис. 5. Изменение c_e и e_e в зависимости от α для плоского РС с $\lambda = 2$, расположенного рядом со зданием

Анализ результатов моделирования ветровой нагрузки проводится для отдельно стоящих плоских и призматических РС. По полученным зависимостям c_e и e_e от α можно найти аппроксимирующую кривую вида $c_e = f_c(\alpha) = a_1 \times \alpha^5 + a_2 \times \alpha^4 + a_3 \times \alpha^3 + a_4 \times \alpha^2 + a_5 \times \alpha + a_6$ и $e_e = f_e(\alpha) = a_1 \times \alpha^5 + a_2 \times \alpha^4 + a_3 \times \alpha^3 + a_4 \times \alpha^2 + a_5 \times \alpha + a_6$. Учитывая, что основные конструктивные типы РС имеют характерную расчетную схему, можно выразить основные силовые факторы (изгибающий момент $M_{из}$, перерезывающая сила $Q_{пер}$ и момент кручения $M_{кр}$) для наиболее ответственного элемента – стойки в опорном сечении и представить их в виде:

$$\begin{aligned} M_{из} &= A_1 \times (B \times w \times c_e) = A_1 \times B \times w \times f_c(\alpha) \\ Q_{пер} &= A_2 \times (B \times w \times c_e) = A_2 \times B \times w \times f_c(\alpha) \\ M_{кр} &= A_3 \times (B \times w \times c_e) \times e = A_3 \times B \times w \times f_c(\alpha) \times f_e(\alpha) \end{aligned} \quad (1)$$

где, A_1, A_2, A_3 - параметры геометрии РС, B - параметры нагрузки w .

Дифференцируя аппроксимированные зависимости по α и находя корни уравнений (1), получаем «максимальные» значения углов α_{\max} с максимальным значением соответствующего параметра ($M_{\text{из}}$, $Q_{\text{пер}}$ и $M_{\text{кр}}$).

Изменение α_{\max} для рассмотренных плоских РС в зависимости от λ для максимальных $M_{\text{из}}$, $Q_{\text{пер}}$ и $M_{\text{кр}}$ приведены на рисунке 6.

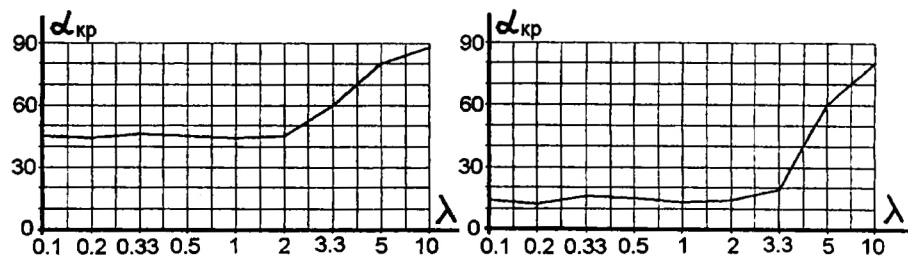


Рис. 6. Изменение «максимального» угла направления ветровой нагрузки $\alpha_{\text{кр}}$ при максимальном значении $M_{\text{из}}$, $Q_{\text{пер}}$ (а) и $M_{\text{кр}}$ (б) в зависимости от λ

В третьей главе представлены результаты экспериментальных исследований отдельно стоящего плоского РС с размерами рекламной поверхности (РП) $b \times h = 6 \times 3 \text{ м}$ ($\lambda = 2$), с высотой от уровня земли до нижнего края РП - $H = 5 \text{ м}$. Экспериментальное определение ветровой нагрузки проводилось этапами: I этап – определение характеристик объекта исследования в аэродинамической трубе, II этап – определение характеристик объекта исследования в натуральных условиях.

I этап выполнялся в аэродинамической трубе на модели в масштабе 1:10. При составлении модели учитывались геометрические, кинематические и динамические критерии теории подобия. Эксперимент проводился в аэродинамической трубе Т101 Казанского государственного технического университета (КГТУ) им. Туполева. Регистрация распределенных характеристик осуществлялась методом дренажных трубок, концы которых подсоединялись к батарейному манометру с точностью измерения до 0.5 мм спиртового столба. Для регистрации интегральных характеристик (C_x , C_y , $M_{\text{кр}}$) применялись аэродинамические весы с точностью по углу поворота – 0.5° , по измерению давления - 0.005 кгс. В процесс эксперимента регистрировались характеристики: распределенное давление по РП в характерных точках; изменение аэродинамических характеристик (C_x , C_y , $M_{\text{кр}}$); наблюдение картины обтекания потоком ветра при различных направлениях ветра.

Регистрация исследуемых характеристик осуществлялась в скоростной и связной системах координат. Результаты исследований в аэродинамической трубе приведены на рисунке 8.

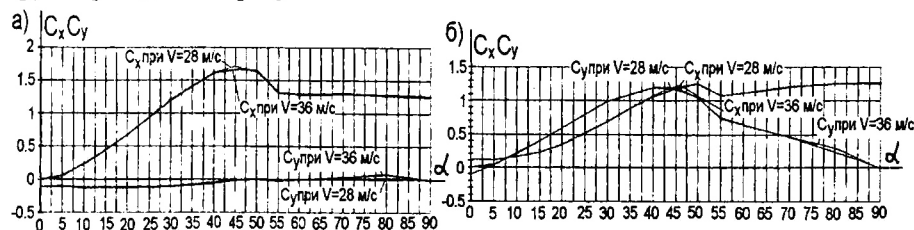


Рис. 8. Значение относительного эксцентриситета приложения равнодействующей ветровой нагрузки.

Сравнение качественной картины, распределенной по поверхности ветровой нагрузки, по результатам численного эксперимента и результата исследований в аэродинамической трубе приведено на рисунке 9.



Рис. 9. Сравнение результатов численного эксперимента и эксперимента в аэродинамической трубе.

II этап экспериментальных исследований (в натурных условиях) выполнялся на двух рекламных щитах. В процессе II этапа эксперимента производилась регистрация: параметров ветровой нагрузки (датчики давления Honnowell марки DC002NGR4 на системе измерений NI USB 6008 с ПО "LabVIEW"); напряжений в несущих элементах РС (тензодатчики завода ОКИО при ЦНИСК на системе измерений ММТС 64.01); амплитуд и частот колебаний элементов РС (вибродатчики ВЭГИК на системе измерений L-card).

Значение скорости ветра в процессе эксперимента определялось анемометром – термометром ИСП МГ 4.03. В процессе эксперимента функционирование всех систем измерений проводилось в режиме реального времени с последующей обработкой результатов. Принципиальная схема эксперимента приведена на рисунке 10.

Сравнение результатов экспериментально определенных напряжений при зарегистрированной скорости ветра $V=7.4$ м/с и направлении $\alpha = 90^\circ$ со значениями, определенными расчетом на ПК «Лира» при соответствующей ветровой нагрузке показали на удовлетворительную точность в пределах 7%. Результаты сравнения экспериментально определенных частот собственных

колебаний РС с расчетными данными показывают на удовлетворительное соответствие результатов в пределах 2%.

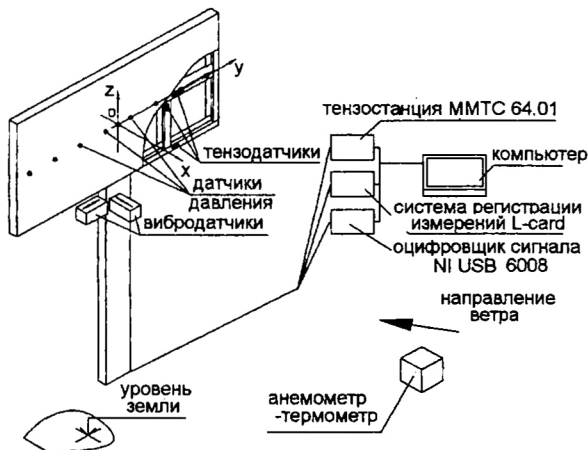


Рис. 10. Принципиальная схема эксперимента в натуральных условиях

По результатам экспериментов - численного, экспериментального, прошедшего в лабораторных и натуральных условиях, проведено сравнение характерных качественных и количественных показателей.

Сравнение c_x и c_e для численного моделирования (на ПК «AERECOPLATE» и ПК «Fluent») эксперимента в аэродинамической трубе и нормативных требований приведено на рисунке 11.

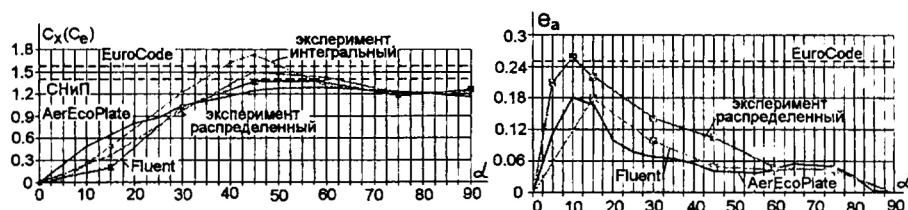


Рис. 11. Сравнение значений c_x по результатам численного эксперимента, эксперимента в аэродинамической трубе и нормативных требований

Качественные и количественные результаты численного моделирования средней составляющей ветровой нагрузки удовлетворительно соответствуют результатам эксперимента в аэродинамической трубе и определению ветровой нагрузки в городской застройке, причем в зоне «несущественного влияния отрывных обтеканий» погрешность составляет 7%, а в зоне «существенного влияния отрывных обтеканий» $30^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$ погрешность составляет 25%.

Четвертая глава посвящена разработке методики расчета РС на основе вероятностного подхода, позволяющей оптимизировать параметры РС с учетом возможных потерь.

В общем виде задачу нахождения оптимальных параметров сечений элементов РС при вероятностном расчете можно записать по условию

$$C = C_H + \prod_{i=1}^n (q_i \times Y) \rightarrow \min \quad (2)$$

где C - полные возможные затраты при эксплуатации РС; C_H - затраты связанные с изготовлением и установкой РС; Y - возможный ущерб при обрушении конструкции, зависящий от места установки; q_i - вероятность разрушения основных элементов РС. Вероятность разрушения элемента q_i определяется методами теории вероятности и записывается как функционал напряжений, включающий в себя основные геометрические параметры сечений. Полученное из условия 2 оптимальное значение параметров сечений РС позволяет обосновать назначение коэффициента надежности γ_n :

$$\gamma_n = \frac{P_{опт}}{P_{норм}} \quad (3) \quad \begin{array}{l} P_{опт} - \text{оптимальный уровень надежности определенный из} \\ \text{условия 2; } P_{норм} - \text{нормативный уровень надежности РС,} \\ \text{запроектированного по СНиП.} \end{array}$$

Для расчетной модели РС рассматриваются следующие случаи отказов, приводящих к обрушению: разрушение по сечению стойки; разрушение по сечению анкерных болтов; опрокидывание фундамента. Несущая способность стальных элементов РС величина случайная – R (кг/см²), которая описывается нормальным законом распределения. Ветровая нагрузка w (кг/м²) с уточненными во 2-ой главе параметрами определяется в зависимости от случайной величины - скорости ветра V по условию $w = 0.061 \times V^2$ (кг/м²) и также является случайной величиной. При известном законе распределения нагрузки $f_1(w)$, можно найти закон распределения максимальных напряжений $f_2(s)$ и вероятность разрушения РС для расчетного случая q_i .

Величина начальных затрат, связанных с изготовлением и монтажом, определяется от массы металла РС, которую можно выразить через геометрические параметры сечений элементов РС. Затраты, связанные с возможным ущербом при обрушении РС, можно классифицировать как материальный ущерб, включающий в себя повреждения РС и товарно-материальных ценностей (ТМЦ) в зоне обрушения и нематериальный ущерб

включающий в себя затраты, связанные с нарушением репутации владельца РС и причинением вреда здоровью людей, находящихся в зоне обрушения.

Графическая реализация условия полных затрат - кривая 5, 6, 7; затрат, связанных с изготовлением и монтажом РС,- кривая 1; затрат, связанных с возможными убытками, - кривая 2, 3, 4 в зависимости от геометрических параметров элемента РС приведена на рисунке 12.

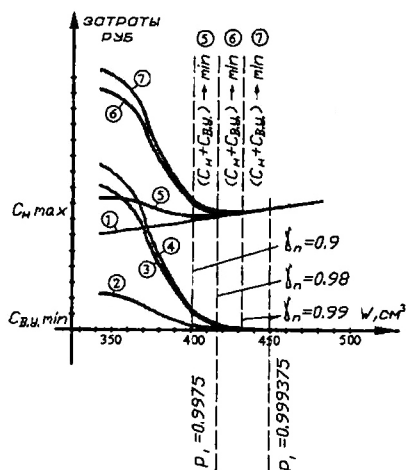


Рис. 12. Зависимость полных затрат для рассматриваемого РС от пластического момента сопротивления сечения стойки

(кривая 1 – условие начальных затрат; условия возможных затрат: 2 - в случае ремонта РС, 3, 4 - в случае ремонта, ухудшения репутации владельца, повреждения ТМЦ в зоне обрушения РС и возможных социальных потерь. Также на рис. 12 приведены ограничения по величине допустимой вероятности обрушения РС из учета социальных потерь $p_i = 0.999375$, для РС с возможным присутствием людей $p_i = 0.9975$, определенные в соответствии с методикой Лычева А.С., и определяют значение $\gamma_n = 0.99$ по 3.

Анализ изменения величины полных затрат для рассмотренных видов ущерба показывает оптимальные значения вероятности безотказной работы РС и определенные для них значения коэффициента надежности:

1 - $\gamma_n = 0.9$ (кривая 5); 2 - $\gamma_n = 0.98$ (кривая 6); 3 - $\gamma_n = 0.99$ (кривая 7).

Данные уровни оптимальной надежности объясняются высокой долей затрат, связанных с возможным ущербом в общем значении величины полных возможных затрат.

Реализация результатов исследований осуществлялась при расчете и конструировании 14-ти различных конструктивных решений РС реализованных при строительстве в Республике Татарстан.

По результатам проведенных исследований сделаны следующие **выводы**:

1. Разработана технология моделирования ветровой нагрузки и предложены параметры расчетных схем методом дискретных вихрей (МДВ) на ПК «AERECOPLATE» для определения ветровой нагрузки на РС.
2. Выполнены расчеты и проведено сравнение результатов моделирования ветровой нагрузки, полученных с помощью численных методов на ПК «AerEcoPlate» МДВ и ПК «Fluent» МКО. Точность моделирования составила: в зоне «несущественного влияния отрывных обтеканий» - 5%; в зоне «существенного влияния отрывных обтеканий» $30^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$ - 25%, что позволяет использовать численные методы для решения аналогичных задач.
3. Для плоских РС при малых отношениях $\lambda = 0.1 - 3$ расчетным сочетанием является: $c_e = 1.52$ с $e_a = 0.15b$ при $\alpha = 40^\circ - 50^\circ$, что по обоим значениям незначительно меньше *EuroCode*.
При больших $\lambda = 5 - 10$ расчетными сочетаниями являются: $c_e = 1.3$ с $e_a = 0$ при $\alpha = 90^\circ$, что существенно меньше значений *EuroCode*.
4. Для призматических РС треугольной формы максимальные значения аэродинамических характеристик в связанной системе координат следует принимать: для равносторонних - $c_x = 2.5$ при $\alpha = 0^\circ$, $c_y = 2.1$ при $\alpha = 100^\circ$, $c_e = \sqrt{c_x^2 + c_y^2} = 2.5$ при $\alpha = 0^\circ$ и $\alpha = 120^\circ$, $e_a = 0.06$ при $\alpha = 30^\circ$; для равнобедренных - $c_x = 2.7$ при $\alpha = 0^\circ$, $c_y = 2.3$ при $\alpha = 100^\circ - 110^\circ$ (перпендикулярно длинной стороне), $c_e = \sqrt{c_x^2 + c_y^2} = 2.7$ при $\alpha = 0^\circ$, $e_a = 0.06b$ при $\alpha = 10^\circ - 20^\circ$ (направление ветра вдоль длинной стороны).
5. Для рядом расположенных плоских РС с $\lambda = 2$ максимальное значение c_e увеличивается на 10% при расстоянии $a \leq 0.5b$ между ними и на 5% - при $a \leq b$.
6. Для плоских РС с $\lambda = 2$, расположенных рядом со зданием, максимальное значение c_e следует принимать с коэффициентом 1.6 при расстоянии от стены $a = 1m$ и от угла - на расстоянии половины ширины здания.
7. Для РС, нижняя кромка которых располагается ниже 3 метров от уровня земли, значение c_e следует увеличивать на 10%.
8. Экспериментальные значения напряжений в элементах РС с точностью до 7% совпадают с теоретическими значениями и подтверждают асимметричный характер приложения ветровой нагрузки при различных углах ветрового воздействия.

9. Экспериментальные собственные частоты ($1 \div 1.5$ Гц) с точностью до 2% совпадают с теоретическими значениями колебаний РС.
10. Разработана методика расчета на основе вероятностного подхода, позволяющая оптимизировать параметры РС с учетом возможных потерь. Минимальное значение коэффициента надежности РС из учета экономических потерь следует принимать: $\gamma_n = 0.9$, из учета социальных потерь: $\gamma_n = 0.99$.

Основное содержание диссертации опубликовано в работах:

1. Козлов М.В. К вопросу распределения ветровых нагрузок на плоские пластины//Материалы 56-й республиканской научной конференции. Сборник научных трудов докторантов и аспирантов.-Казань: КГАСА, 2004. - С. 90-96.
2. Козлов М.В. Статическое распределение давления ветра на прямоугольной пластине при различных углах действия ветрового потока//Материалы 57-й республиканской научной конференции. Сборник научных трудов докторантов и аспирантов.-Казань: КГАСА, 2005. - С. 73-76.
3. Козлов М.В. Хусаинов Д.М. Оценка характеристики надежности типовых рекламных конструкций//Материалы 59-й республиканской научной конференции. Сборник научных трудов докторантов и аспирантов.-Казань: КГАСА, 2007. - С.50-54.
4. Манапов А.З., Хусаинов Д.М., Козлов М.В. О силе и последствиях урагана 8 июля 2007 года//Известия КазГАСУ. №1(9)/2008.-Казань: КГАСА, 2008. - С. 76-82.
5. Козлов М.В. К вопросу распределения ветровых нагрузок на плоские пластины//Актуальные проблемы строительного и дорожного комплексов: Материалы международной научно-практической конференции 18-21 мая 2004г.-Йошкар-Ола, 2004. - Ч.2. - С.217-220.
6. Шмелев Г.Н., Козлов М.В. О характере распределения ветровых нагрузок на отдельно стоящие плоские сплошные конструкции//Научно-технические проблемы прогнозирования надежности и долговечности конструкций и методы их решения: Труды VI Междунар. Конф. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2005. – С. 452-456.
7. Шмелев Г.Н., Козлов М.В., Крупин В.П. Моделирование ветрового воздействия на плоские прямоугольные поверхности//Новые конструктивные решения пространственных покрытий и перекрытий зданий

- и сооружений: Тезисы докладов научной сессии. М.: Организационный комитет МОО «Пространственные конструкции», 2005. –С.79-80.
8. Козлов М.В., Шмелев Г.Н., Крупин В.П. Использование программных комплексов при расчете сооружений на ветровую нагрузку// Проблемы строительного комплекса России. Материалы X юбилейной международной научно-технической конференции 1-3 марта 2006г.-Уфа, 2006. - Т.1. - С.139-140.
9. Шмелев Г.Н., Козлов М.В., Крупин В.П. Применение метода дискретных вихрей при моделировании средней составляющей ветровой нагрузки на рекламные сооружения//Проблемы компьютерного моделирования конструкций и сооружений. Тезисы симпозиума 5-8 июня 2007г.-Н.Новгород, 2007. - С.70-71.
- 10.Шмелев Г.Н., Козлов М.В. Моделирование статической составляющей ветрового воздействия на сооружения рекламного назначения//Промышленное и гражданское строительство.2007,№9-С.47-48.
- 11.Gennady N. Shmelev, Maxim V. Kozlov, Vladimir P. Krupin. The simulation of a wind load on advertising structures using the discrete whirlwind method// International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. Vol 3, Is 2, 2007.-p.45-49.
- 12.Хусаинов Д.М., Козлов М.В. Определение надежности типовых рекламных конструкций//Научно-технические проблемы прогнозирования надежности и долговечности конструкций и методы их решения: Труды Междунар. Конф. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008. – С. 452-456.
- 13.Козлов М.В., Хусаинов Д.М., Шмелев Г.Н. Проектирование типовых рекламных конструкций с заданным уровнем надежности//«Строительство 2008»: Материалы юбилейной международной научно-практической конференции.-Ростов н/Д: РГСУ, 2008. - С.62-63.
- 14.Кузнецов И.Л. Шмелев Г.Н. Исаев А.В. Козлов М.В. Рекламный щит. Патент РФ. № 2243596 от 01.04.2003. М. Кл. G 09 F 15/00. Бюллетень № 36 от 27.12.2004.
- 15.Кузнецов И.Л. Шмелев Г.Н. Исаев А.В. Рекламный щит. Патент РФ. №2250514 от 10.11.2002. М. Кл. G 09 F 15/00. Бюллетень № 11 от 20.04.2005.
- 16.Шмелев Г.Н., Козлов М.В., Крупин В.П. Экспериментальное определение ветровой нагрузки, напряженно-деформированного состояния и колебаний рекламного сооружения//Промышленное и гражданское строительство. 2009, №10. -С.16-19.

Корректурa автора

Подписано в печать 30.10.09

Формат 60х84/16

Заказ 6023.

Печать ризографическая

Усл.–печ.л. 1,0

Тираж 100 экз.

Бумага офсетная

Печатно-множительный отдел КазГАСУ.

420043, Казань, Зеленая, 1

$$10 =$$